Aula 1

PRINCÍPIOS BÁSICOS DA ELETROSTÁTICA

Introdução

A Eletrostática é a parte da física que estuda fenômenos elétricos, quando as cargas estão em repouso em relação a dado referencial inercial.

Carga Elétrica

A carga elétrica, **no domínio da Física Clássica**, é uma propriedade intrínseca associada a partículas como o elétron e o próton.

Uma questão curiosa é que a carga elétrica não aparece na natureza em uma quantidade arbitrária, mas sim como múltiplo do seguinte número:

$$e = 1{,}6021 \times 10^{-19}\ C$$

Dessa maneira, dizemos que a carga elétrica é quantizada, isto é, a carga de um objeto pode ser escrita como $Q = n \cdot e$; onde n = inteiro. A unidade de carga elétrica no SI é o Coulomb (C).

Princípios da Eletrostática

Princípio da atração e repulsão

- Cargas elétricas de mesmo sinal repelem-se.
- Cargas elétricas de sinais opostos atraem-se.

Princípio da conservação das cargas elétricas

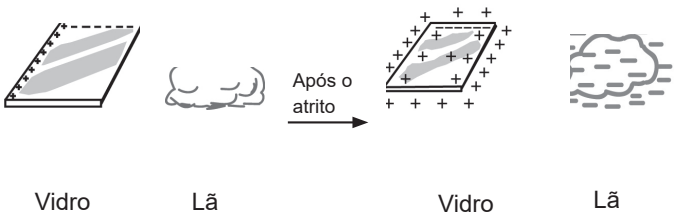
- A carga elétrica total em um sistema isolado é conservada.

Condutores e Isolantes

- **Condutores elétricos:** São meios materiais nos quais as cargas elétricas se movimentam com facilidade.
- **Isolantes elétricos ou dielétricos:** São meios materiais que dificultam a movimentação de cargas.
- **Elétrons livres:** elétrons mais afastados do núcleo atômico, ligados fracamente a ele. Os elétrons livres são os responsáveis pela condução de eletricidade nos metais.

Processos de Eletrização

- **Eletrização por atrito:** Trata-se do primeiro método que se tem conhecimento, data do século VI a.C, quando Tales de Mileto que o âmbar adquiria a propriedade de atrair pedaços de palha, logo após ser atritado com tecido ou pele de animal. Propriedades intrínsecas dos materiais irão definir qual corpo ficará eletrizado negativamente ou positivamente.

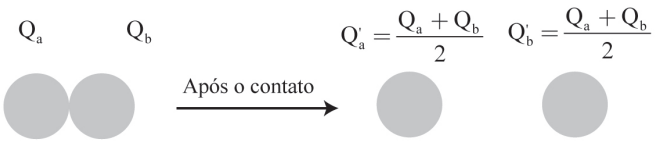


Após inúmeras experiências, os cientistas montaram uma tabela, indicando qual material deve ceder elétrons em relação a outros, conhecida como **série triboelétrica**.

Série triboelétrica
pele de coelho
vidro
cabelo humano
mica
lã
pele de gato
seda
algodão
âmbar
ebonite
poliéster
isopor
plástico

- **Eletrização por contato:** Observa-se experimentalmente que, quando dois ou mais **condutores** são colocados em contato, há uma redistribuição das cargas elétricas em suas superfícies externas. Tal distribuição está relacionada com as dimensões do objeto. Isto é:

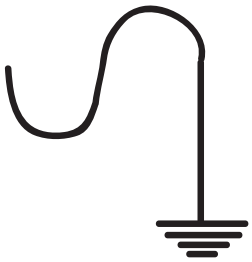
1. **Para objetos iguais:** A carga total será distribuída igualmente.



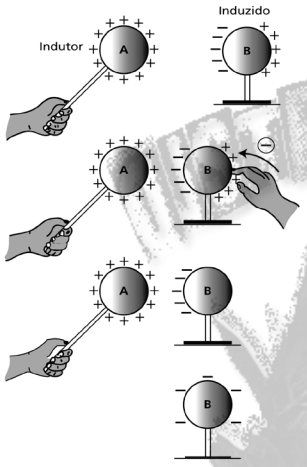
2. **Para objetos diferentes:** Existirá uma relação de proporção, a qual dependerá do formato dos objetos. Para condutores esféricos, temos que: $Q = cte \cdot R$ (cte = constante, R = raio). Esse resultado será demonstrado futuramente.

Obs.: Se um corpo eletrizado e condutor for posto em contato com outro corpo, mas de dimensão muito maior, o corpo menor ficará praticamente neutro e o corpo maior recebe o nome de "Terra". É o que acontece quando ligamos um corpo eletrizado à Terra: ele se descarrega. A figura a seguir ilustra

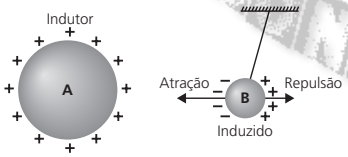
a representação simbólica da ligação à Terra.



- **Eletrização por indução:** Ao aproximarmos, sem tocar, um objeto eletrizado de um condutor neutro, provocamos no condutor neutro uma redistribuição de cargas, tal fenômeno é conhecido como indução eletrostática. A sequência a seguir ilustra um possível processo de eletrização por indução:



Por indução, um corpo eletrizado pode atrair um condutor neutro. Veja a figura a seguir:



As cargas positivas de A atraem as negativas de B e repelem as positivas de B. Como, no induzido, as cargas negativas ficam mais próximas do indutor do que as positivas, conclui-se que a força de atração é maior que a de repulsão.

Observações Gerais:

- A definição de condutor/isolante está relacionada ao conceito de **rigidez dielétrica**.
- A carga de um **condutor eletrizado** e em **equilíbrio eletrostático** sempre se distribuirá pela superfície externa. Isso ocorre porque as cargas buscam uma situação em que suas interações (repulsões, nesse caso) sejam **mínimas**.
- Na eletrização por indução, os corpos sempre ficam com cargas de sinais contrários.

  A carga induzida é sempre menor (**indução parcial**) ou igual (**indução total**), em módulo, à carga indutora.

Exercícios de Fixação

01. Ao se esfregar um canudinho de refrigerante com um pedaço de lã e aproximá-lo de uma parede, ele poderá ficar "grudado" na parede. Isso se justifica porque
  A) prótons passam da lã para o canudinho, deixando-o eletrizado positivamente, e isso o prende aos elétrons dos átomos que estão na parede.
  B) ocorre uma transferência de elétrons da lã para o canudinho e, ao colocá-lo em contato com a parede, ocorre a descarga desse excesso de elétrons, ficando o canudinho preso até que a descarga termine.
  C) ocorre indução de cargas elétricas na parede, que passam para o canudinho e, devido à atração entre as cargas, surge uma força elétrica que aumenta a força normal e equilibra o peso do canudinho.
  D) com o atrito, o canudinho se eletriza pela retirada de alguns de seus prótons, o que o deixa eletricamente negativo, sendo, portanto, atraído pelos prótons da parede.
  E) o canudinho fica eletrizado e, por ser um mau condutor, não perde esse excesso de carga para a parede, ficando, assim, preso a ela por forças elétricas entre as cargas do canudinho e as induzidas na parede.

02. Considere as seguintes afirmativas:
  I. Um corpo não eletrizado possui um número de prótons igual ao número de elétrons;
  II. Se um corpo não eletrizado perde elétrons, passa a estar positivamente eletrizado e, se ganha elétrons, negativamente eletrizado;
  III. Isolantes ou dielétricos são substâncias que não podem ser eletrizadas.

  Assinale a alternativa em que as afirmações são corretas.
  A) I e II. B) Apenas II.
  C) Apenas III. D) I e III.
  E) I, II, III.

03. (AFA-SP) Três esferas condutoras de raio R, 3R e 5R e eletrizadas, respectivamente, com quantidades de cargas iguais a –10 μC, –30 μC e + 13 μC estão muito afastadas entre si. As esferas são, então, interligadas por fios metálicos de capacitância desprezível até que o sistema atinge completo equilíbrio. Nessa situação, determine o valor da quantidade de carga, em microcoulombs, da esfera de raio 3R.
  A) –9
  B) –3
  C) 3
  D) 9

04. Um aluno entusiasta de Física decidiu realizar a seguinte experiência:
  I. Eletrizou uma pequena esfera condutora A com uma carga Q;
  II. Tomou uma esfera neutra idêntica à A e provocou um contato entre elas;
  III. Tomou duas esferas neutras idênticas à A e provocou um contato simultâneo entre elas e a esfera A.
  IV. Tomou três esferas neutras idênticas à A e provocou um contato simultâneo entre elas e a esfera A; e assim sucessivamente.

Sabe-se que o número total de esferas utilizadas no experimento (excetuando a esfera A) foi de 21 esferas. Pede-se para determinar a carga final de A.

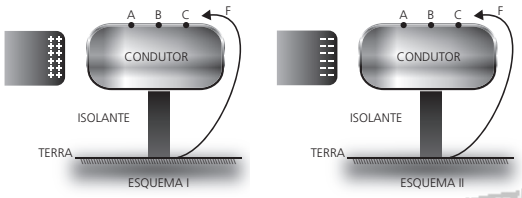
A) $Q_f = \frac{Q}{6!}$

B) $Q_f = \frac{Q}{4!}$

C) $Q_f = \frac{Q}{7!}$

D) Impossível determinar.

05. Deseja-se carregar negativamente um condutor metálico pelo processo de indução eletrostática. Nos esquemas (I) e (II), o condutor foi fixado na haste isolante. (F) é um condutor que nos permite fazer o contato com a terra nos pontos (A), (B) e (C) do condutor. Devemos utilizar



A) o esquema (I) e ligar necessariamente (F) com (C), pois as cargas positivas aí induzidas atrairão elétrons da terra, enquanto que, se ligarmos em (A), os elétrons aí induzidos, pela repulsão eletrostática irão impedir a passagem de elétrons para a região (C).

B) o esquema (II) e ligar necessariamente (F) em (A), pois as cargas positivas aí induzidas atrairão elétrons da terra, enquanto que, se ligarmos em (C), os elétrons aí induzidos pela repulsão eletrostática, irão impedir a passagem de elétrons para a região (A).

C) qualquer dos esquemas (I) ou (II), desde que liguemos (F), respectivamente, em (C) e em (A).

D) o esquema (I), onde a ligação de (F) com o condutor poderá ser efetuada em qualquer ponto do condutor, pois os elétrons fluirão da terra ao condutor, até que ele atinja o potencial da terra.

E) o esquema (II), onde a ligação de (F) com o condutor poderá ser efetuada em qualquer ponto do condutor, pois os elétrons fluirão da terra ao condutor, até que ele atinja o potencial da terra.

06. Os processos de eletrização, em eletrostática, são aqueles por meio dos quais podemos transformar um corpo neutro em um eletrizado, isto é, em um corpo negativo ou positivo. A respeito desses processos, pode-se afirmar corretamente que

A) para transformar um corpo neutro em um eletrizado positivamente, devemos retirar todos os elétrons desse corpo.

B) quando dois corpos isolantes, inicialmente neutros, são atritados um contra o outro, adquirem cargas elétricas de sinais iguais.

C) em um sistema eletricamente isolado não pode haver troca de cargas entre corpos de dentro do sistema.

D) só é possível eletrizar por indução corpos neutros que permaneçam o tempo todo em contato com a terra.

E) se um corpo condutor inicialmente eletrizado toca outro corpo condutor, idêntico ao primeiro, porém neutro, eles adquirem cargas de sinais e módulos iguais.

07. Com relação à eletrização por indução, afirma-se que:

I. um corpo neutro pode ser atraído por um corpo eletrizado;

II. só os corpos eletrizados podem sofrer atração elétrica;

III. um corpo neutro só é atraído por um corpo eletrizado se estiver ligado à terra.

Dessas afirmações, pode-se dizer que é (são) correta(s):

A) somente I.

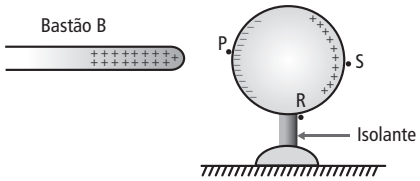
B) somente II.

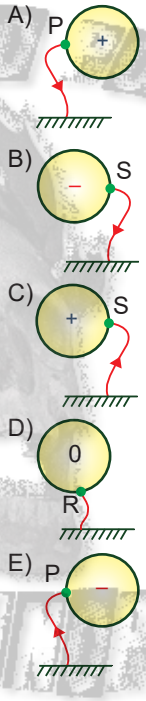
C) somente III.

D) somente I e II.

E) somente II e III.

08. Quando se aproxima um bastão B, eletrizado positivamente, de uma esfera metálica, isolada e inicialmente descarregada, observa-se a distribuição de cargas representada na figura abaixo. Mantendo o bastão na mesma posição, a esfera é conectada à terra por um fio condutor que pode ser ligado a um dos pontos P, R ou S da superfície da esfera. Indicando por (→) o sentido do fluxo transitório (f) de elétrons (se houver) e por (+), (–) ou (0) o sinal da carga final (Q) da esfera, o esquema que representa **f** e Q é:





09. Faz-se um experimento com 4 esferas metálicas iguais e isoladas uma da outra. A esfera A possui carga elétrica Q, e as esferas B, C e D estão neutras. Colocando-se a esfera A em contato sucessivo com as esferas B, C e D, a carga final de A será

A) Q/3
B) Q/4
C) Q/8
D) Q/9

10. Duas esferas metálicas A e B, de raio R e 3R, respectivamente, são postas em contato. Inicialmente A possui carga positiva +2Q e B carga –Q. Após atingir o equilíbrio eletrostático, as novas cargas de A e B passam a ser, respectivamente:

A) $\frac{Q}{2}, \frac{Q}{2}$

B) $\frac{3Q}{4}, \frac{Q}{4}$

C) $\frac{3Q}{2}, \frac{Q}{2}$

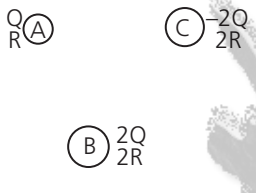
D) $\frac{Q}{4}, \frac{3Q}{4}$

E) $\frac{4Q}{3}, \frac{-Q}{3}$

11. (Professor Ken Aikawa) Duas esferas condutoras, inicialmente afastadas, uma pequena com raio **r** e carga **q** e outra grande com raio R e carga Q são postas em contato até atingirem o equilíbrio eletrostático e logo após são separadas. Sabendo que, R >> r e que a carga total das esferas é consideravelmente menor que R, analise os itens a seguir:
    I. As cargas que cada uma adquire são proporcionais às áreas externas das esferas;
    II. Praticamente toda a carga fica na esfera grande, de maneira semelhante ao que acontece ao conectarmos a esfera pequena com a Terra através de um fio condutor;
    III. A carga das esferas finais das esferas podem ser expressas como $Q_1 = r\times\frac{q+Q}{r+R}$ para a esfera maior e $Q_2 = R\times\frac{q+Q}{r+R}$ para a esfera menor.

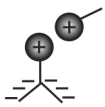
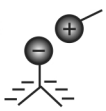
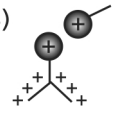
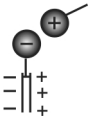
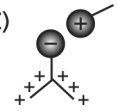
    É (são) correta (s):
    A) Apenas I.
    B) Apenas II.
    C) Apenas III.
    D) I e II.
    E) II e III.

12. Três esferas condutoras, uma de raio R com uma carga Q, denominada esfera A, outra de raio 2R e carga 2Q, denominada esfera B, e a terceira de raio 2R e carga –2Q, denominada esfera C, estão razoavelmente afastadas. Quando elas são ligadas entre si por fios condutores longos, é correto prever que:



    A) cada uma delas terá uma carga de Q/3.
    B) A terá carga Q e B e C, cargas nulas.
    C) cada uma terá uma carga de 5Q/3.
    D) A terá Q/5 e B e C terão 2Q/5 cada uma.
    E) A terá Q, B terá 2Q e C terá – 2Q.

13. Uma esfera metálica, positivamente carregada, é aproximada, sem encostar, da esfera do eletroscópio. Em qual das seguintes alternativas melhor se representa a configuração das folhas do eletroscópio e suas cargas, enquanto a esfera positiva estiver perto de sua esfera?

    A) 
    D) 
    B) 
    E) 
    C) 

14. Uma pequena esfera condutora A, no vácuo, possui inicialmente carga elétrica Q. Ela é posta em contato com outra esfera, idêntica a ela porém neutra, e ambas são separadas após o equilíbrio eletrostático ter sido atingido. Esse procedimento é repetido mais 10 vezes, envolvendo outras 10 esferas idênticas à esfera A, todas inicialmente neutras. Ao final, a carga da esfera A é igual a
    A) $\frac{Q}{2^9}$
    B) $\frac{Q}{2^{10}}$
    C) $\frac{Q}{2^{11}}$
    D) $\frac{Q}{10}$
    E) $\frac{Q}{11}$

15. Três esferas metálicas maciças E_1, E_2 e E_3, feitas de um mesmo material e de raios R_1, R_2 e R_3, respectivamente, podem trocar cargas elétricas entre si a partir do acionamento de contatos elétricos. Inicialmente apenas E_1 encontra-se eletricamente carregada. Em um primeiro momento estabelece-se contato elétrico entre E_1 e E_2, que é cortado quando o sistema atinge o equilíbrio elétrico. A seguir, estabelece-se contato entre E_2 e E_3. Ao final do processo, observa-se que a carga elétrica líquida das três esferas é igual. Desprezando a capacitância mútua entre as esferas, assinale a proporção entre as massas de E_1, E_2 e E_3, respectivamente
    A) 1:1:1
    B) 1:2:2
    C) 2:1:1
    D) 8:1:1
    E) 1:8:8

Gabarito

1	2	3	4	5
B	A	A	D	D
6	**7**	**8**	**9**	**10**
E	A	E	C	D
11	**12**	**13**	**14**	**15**
B	D	D	C	E

Resolução

01. Ao esfregar o canudo com o pedaço de lã, ocorre a eletrização. O canudo, já eletrizado, ao entrar em contato com a parede estabelece uma interação atrativa, o que gera uma aderência, a qual é mantida até ocorrer a descarga total.

Resposta: E

02.
    I. **Correto**, pois quando as cargas estão em quantidade equivalentes o saldo é um corpo neutro.
    II. **Correto**, a classificação elétrica é caracteriza pelo sinal da carga que está em maior quantidade.
    III. **Errado**. Isolantes são objetos que dificultam a movimentação de portadores de cargas elétricas. Tal fato não impede a eletrização do objeto.

Resposta: A

03. Conservação de carga:

$Q_1' + Q_2' + Q_3' = Q_1 + Q_2 + Q_3$ (I)

Proporção das cargas:

$Q_2' = 3Q_1'$; $Q_3' = 5Q_1'$ (II)

De (II) em (I):

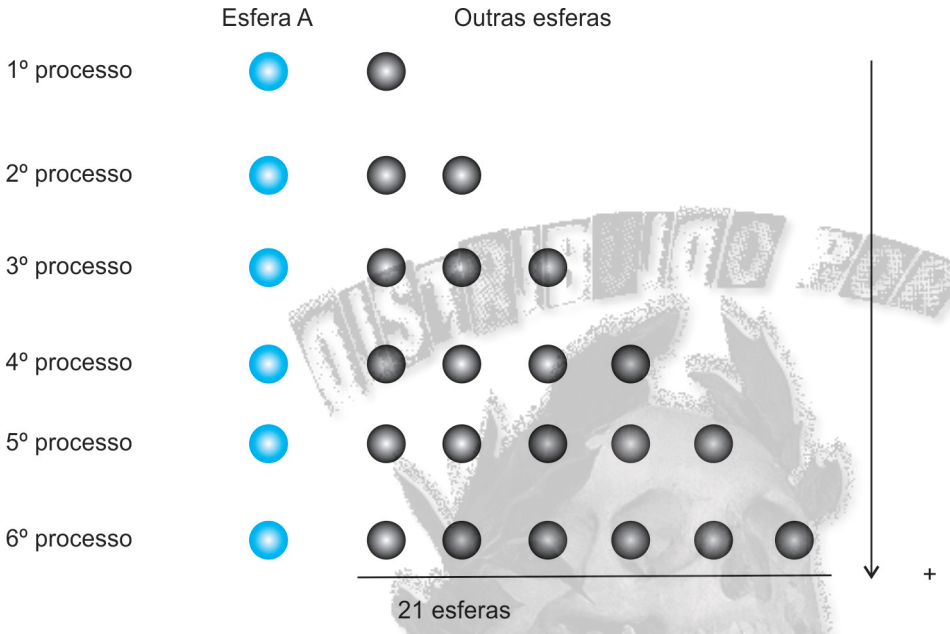
$Q_1' = 3Q_1' + Q_1 = -10\ \mu + (-30\ \mu) + 13\ \mu$

$13Q_1' = -27\ \mu \quad \therefore \quad Q_1' = -3\ \mu C$

Portanto, para a esfera de raio 3R, temos: $Q_2' = -9\ \mu C$

Resposta: A

04.



	Carga final
1º processo	$\frac{1}{2}Q$
2º processo	$\frac{1}{3}\ \frac{1}{2}Q$
3º processo	$\frac{1}{4}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{2}Q$
4º processo	$\frac{1}{5}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{2}Q$
5º processo	$\frac{1}{6}\ \frac{1}{5}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{2}Q$
6º processo	$\frac{1}{7}\ \frac{1}{6}\ \frac{1}{5}\ \frac{1}{4}\ \frac{1}{3}\ \frac{1}{2}Q$

Resposta: D

05. No esquema I, ao estabelecer a conexão com a Terra, temos uma diferença de potencial estabelecida no condutor, na qual a região próxima do indutor tem potencial maior que zero, enquanto que na conexão com a Terra o potencial é zero. Devido a essa diferença de potencial, temos o fluxo de elétrons da Terra para o condutor. Tal fluxo independe do ponto de conexão. No esquema II, ocorre o inverso.

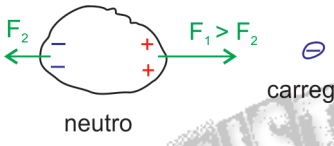
Resposta: D

06. O item E é correto, pois deve ocorrer conservação de carga elétrica, e como os corpos são iguais, eles devem possuir a mesma quantidade de carga elétrica.

Resposta: E

07.

I. **Correto**, qualquer corpo eletrizado atrai um corpo neutro, desde que esse não seja idealizado pontual. Quando o corpo é extenso ocorre o processo ilustrado na figura a seguir:



II. **Errado**.
III. **Errado**.

Resposta: A

08. O corpo indutor irá ser eletrizado negativamente, portanto o fluxo de elétrons será ascendente e isso independe do ponto de ligação.

Resposta: E

09. Ao final de cada contato a carga será igualmente distribuída entre as esferas. Assim, temos:
1º Contato: Q/2
2º Contato: Q/4
3º Contato: Q/8

Resposta: C

10. Conservação de carga:
$Q_1' + Q_2' = Q_1 + Q_2$ (I)

Proporção das cargas:
$Q_2' = 3\,Q_1'$ (II)

De (II) em (I):
$Q_1' + 3\,Q_1' = +2\,Q + (-Q)$

$$Q_1' = \frac{Q}{4} \rightarrow Q_2' = \frac{3Q}{4}$$

Resposta: D

11.

I. **Incorreta**. A carga será proporcional ao raio da esfera.
II. **Correto**. A ligação com a esfera grande terá um processo análogo a conexão com a Terra.
III. **Incorreta**, as cargas finais são proporcionais aos raios. Podemos escrever:

$Q_1 = r \;\; \frac{q+Q}{r+R}$; $Q_2 = R \;\; \frac{q+Q}{r+R}$

Q_1: esfera menor; $\frac{q+Q}{r+R}$: constante de proporção; Q_2: esfera maior; $\frac{q+Q}{r+R}$: constante de proporção

Resposta: B

12.

$$Q_A' + Q_B' + Q_C' = Q_A + Q_B + Q_C$$
$$Q_A' + 2Q_A' + 2Q_A' = Q + 2Q + (-2Q) \therefore Q_A' = \frac{Q}{5}$$

Para as outras esferas $Q_B' = Q_C' = \frac{2\,Q}{5}$

Resposta: D

13. A alternativa C é mais plausível. Cargas negativas ficam próximas da carga indutora positiva na região superior. Enquanto que cargas positivas ficam na região mais afastada, o que gera uma repulsão das folhas do eletroscópio.

Resposta: D

14. Para cada processo, a carga final será metade da do inicial. Como a carga inicial é Q e temos um total de onze processos, temos que a carga final será:

$$Q_{final} = \frac{Q}{2^{11}}$$

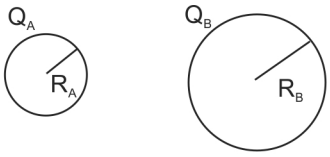
Resposta: C

15.

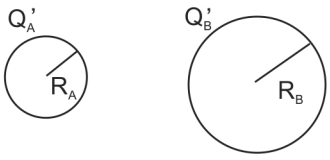
PROCESSOS DE ELETRIZAÇÃO

Cálculo das cargas finais:

Antes do contato (AC):



Depois do contato (DC):



Temos $Q'_A = CR_{A'}$, $Q'_B = CR_{B'}$, onde C é uma constante de proporcionalidade.

$Q'_A + Q'_A = Q_A + Q_A \therefore C(R_A + R_B) = Q_A + Q_B$

$$C = \frac{Q_A + Q_B}{R_A + R_B}$$

$$\text{Assim}: Q'_A = \frac{Q_A + Q_B}{R_A + R_B} \cdot R_A;\ Q'_B = \frac{Q_A + Q_B}{R_A + R_B} \cdot R_B$$

Para a questão:
Para E_1 e E_2 :

$AC: Q_1 = Q \quad Q_2 = 0$

$$DC: Q_1 = \frac{Q}{R_1 + R_2} \cdot R_1 \qquad Q_2 = \frac{Q}{R_1 + R_2} \cdot R_2$$

Para E_1 e E_2 :

$$AC: Q_2 = \frac{Q}{R_1 + R_2} \cdot R_2 \qquad Q_3 = 0$$

$$DC: Q_2 = \frac{Q}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)} \cdot R_3^2 \qquad Q_3 = \frac{Q}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)} \cdot R_2 \cdot R_3$$

Do enunciado, temos para as cargas finais:
$Q_1 = Q_2 = Q_3$

$$Q \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} = Q \cdot \frac{R_3^2}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)} = Q \cdot \frac{R_2 \cdot R_3}{(R_1 + R_2)(R_2 + R_3)}$$

$$R_1 = \frac{R_3^2}{R_2 + R_3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$$

Para as massas: $m = d \cdot \left(\frac{4}{3}\pi R^3\right) \therefore m = K \cdot R^3$

$m_3 = K\ R_3^3$

$m_2 = K\ R_2^3 \therefore m_2 = K\ R_3^3 \therefore m_2 = m_3$

$$m_1 = K\ R_1^3 \therefore m_1 = \frac{K\ R_3^3}{8} \therefore m_1 = \frac{m_3}{8}$$

Assim, a proporção das massas é :
$\boxed{1:8:8}$

Resposta: E

DIGITADOR(A).: VICENTINA – REVISORA.: SHERYDA
OSG.: 047.706 - 161394/22